寄 書

極値統計法による日本太平洋岸の地震発生確率

東京工業大学理学部

若林哲也・力武常次

(昭和 51 年 6 月 26 日受理)

Probability of Earthquake Occurrence off
and along the Pacific Coast of Japan
by the Extreme Value StatisticsTetsuya WAKABAYASHI and
Tsuneji RIKITAKEFaculty of Science, Tokyo Institute
of Technology

(Received June 26, 1976)

§ 1.

極値統計学 [GUMBEL (1958)] の第 1 漸近分布は、以下の 2 つの仮定より導かれる。(1) 母集団の分布は指数型 (指数, ポアソン, 正規, パレト等の分布) である。(2) 観測値は互いに独立である。

ある単位期間 (今回は 1~12 月の 1 年間を採用) の観測値の最大値の分布関数は、漸近的に次式で示される。

$$\Phi_{(x)}^{(1)} = \exp[-e^{-\beta(x-u)}]$$

ここに u は年間特性最大値, β は u の強度函数である。

以下に解析に必要な諸統計量を定義する。

平均再現期間 (Mean return period): $T(x)$

$$T(x) = 1/(1 - \Phi(x))$$

これは、年間最大値が x 以上の地震の発生間隔の平均値である。

特性最大値 (Characteristic largest value): u_N

$$\Phi(u_N) = 1 - 1/N \quad (N: \text{統計年数})$$

これは、 u_N 以上の地震が平均して N 年間に 1 回起こると期待される地震のマグニチュードである。

累積的地震発生確率 (Cumulative Occurrence Probability): $W_x(v)$

$$W_x(v) = 1 - (\Phi(x))^v$$

これは、 x より大きい地震が、 v 年またはそれ以前に発生する確率である。

用いたデータが極値分布に従うか否かの判定は、管理帯内にデータ総数の 68.27% 以上が入るか否かでを行った。管理帯は $\bar{x} - \sigma < X < \bar{x} + \sigma$ で定義される。 $\bar{x}, \sigma$ は、それぞれ平均および標準偏差である。

今回の統計では、 $M \geq 5.0$ の地震が発生していない場合は $M=4.9$ を仮に与え、累積頻度を求めた後、パラメーターの推定からは除外して考えた。

§ 2.

地域分けを Fig. 1 に示す。

使用データは、関東については 1887-1974 の 88 年間、他の地域は 1926-1974 の 49 年間である。

各地の計算結果は、以下の通りである。

パラメーター u, β および特性最大値 u_N を Table

Fig. 1. Map of Japan showing the seven areas to which the statistics are applied separately. (A) Hokkaido, (B) Sanriku, (C) Fukushima, (D) Kanto, (E) Tokai, (F) Nankai, and (G) Hyuganada.

Table 1. Estimated parameters and characteristic largest value (u_N).

AREA	N	TN	β	u	u_N
Hokkaido	0	49	1.94 ± 0.04	6.25 ± 0.25	8.26 ± 0.27
Sanriku	2	47	1.54 ± 0.03	5.56 ± 0.21	8.15 ± 0.21
Fukushima	0	49	2.28 ± 0.08	5.94 ± 0.50	7.64 ± 0.51
Kanto	2	86	1.65 ± 0.03	5.97 ± 0.20	8.68 ± 0.21
Tokai	17	32	1.43 ± 0.03	5.11 ± 0.18	7.82 ± 0.19
Nankai	23	26	1.26 ± 0.03	4.73 ± 0.20	7.82 ± 0.20
Hyuganada	12	37	1.48 ± 0.04	5.32 ± 0.22	7.94 ± 0.22

N: number of missing samples, TN: number of total data.

Fig. 2. Extremal probability graph for the annual largest earthquakes of the Kanto area, showing the observed extremes, the least squares fit lines, and the confidence band as indicated by the thin two lines. The first and third asymptotic lines are indicated by the thick full and broken lines respectively.

1 に示す。代表的な例として関東地域の計算結果のグラフを、データと共に Fig. 2 に示す。管理帯を外れたデータ数は、関東地域が最大で 29% である。したがって、第 1 漸近分布は大地震の分布をよく近似すると言えよう。しかし、データの分布曲線は上に凸の傾向を持つものがある。このような場合には、第 3 漸近分布がよい近似を与える [YEGULALP and Kuo (1974)] ことが知られている。第 3 漸近による推定を行った結果を図中破線で示してある。

第 1 漸近分布は、東海、南海および日向灘がよく

似た傾向を示す。

平均再現期間を過去の観測値と共に Table 2 に示す。全体として推定値が観測された平均間隔より短い。

最後に、1976 年末までの累積的地震発生確率の推定値を Table 3 に示す。確率が最大となるのは、関東地方である。しかし、関東で今年 1 年間に $M \geq 7.6$ の地震が発生する確率は、1924 年のそれと等しく、6.54% である。

以上の統計法を地震に適用する場合の最大の欠点は、必ずしも観測値の独立性が満たされていないことである。データを採った期間内に地震の発生していない領域を含む地域で発生確率を求めると、地殻歪の蓄積を考えると実際の発生確率は高まると考えられる RIKITAKE (1975) にもかかわらず、逆に低く推定されるという矛盾を生じる。例えば、1923 年の関東地震、1969 年、1973 年の根室沖地震を除いたデータで統計をとると、その地域の発生確率は大きく下がる。このことは、各地域での地震の非活動領域をうめるような巨大地震を含まない統計は、正しい推定を与えないことを示唆している。東海地域は、この条件を満たしていない。

文 献

- GUMBEL, E. J., 1958, Statistics of Extremes, Columbia Univ. Press, New York, 極値統計学, 1963, 河田竜夫, 岸井重久, 加瀬滋男監訳, 広川書店, 東京.
- 気象庁, 12 日本付近におけるおもな地震の規模表 (1885-1950).
- 気象庁, Catalogue of Major Earthquakes which Occurred in and near Japan (1926-1957).
- 気象庁, 地震月報, Dec. 1968, 36-49., Dec. 1969,

Table 2. Estimated mean return period and observed mean return period (Yrs).

Area	$M \geq 7.4$					$M \geq 8.0$				
	Estimated M.R.P.	Observation				Estimated M.R.P.	Observation			
		Y_1	Y_2	N	M.R.P.		Y_1	Y_2	N	M.R.P.
Hokkaido	9.49	1763	1973	10	23.3	29.29	1843	1968	4	42.
Sanriku	15.09	1611	1960	14	26.9	37.11	1896	1933	2	35.
Fukushima	28.59	1835	1938	3	51.5	111.05				
Kanto	11.09	1894	1953	7	9.8	29.08	1703	1923	2	220.
Tokai	26.93	1854	1944	3	45.0	62.80	1498	1944	3	223.
Nankai	29.52					62.37	1605	1946	5	85.
Hyuganada	22.31	1909	1968	3	29.5	53.48				

Y_1 : the year when $M \geq 7.4$ or $M \geq 8.0$ earthquake occurred, Y_2 : the year when the last earthquake occurred, N : number of earthquakes which occurred during period between Y_1 and Y_2 .

Table 3. The cumulative probability for an earthquake having a magnitude equal to larger than 7.6 and 8.0 to occur during a period of 50 and 100 years.

Area	$M \geq 7.6$					$M \geq 8.0$				
	50	100	Year	N	$W_x(N)$	50	100	Year	N	$W_x(N)$
Hokkaido	97.7%	99.95%	1967	7	41.0%	82.4%	96.9%	1952	24	56.5%
Sanriku	92.0	99.4	1936	40	86.8	74.5	93.5	1933	43	69.1
Fukushima	67.6	89.5	1938	38	57.6	36.4	59.5			
Kanto	96.6	99.89	1923	53	97.3	82.6	96.89			
Tokai	75.9	92.4	1944	32	59.7	55.2	79.9	1944	32	40.2
Nankai	73.8	93.1	1946	30	55.2	55.4	80.1	1946	30	38.4
Hyuganada	81.8	96.7				61.8	84.9			

Year: the last earthquake occurred in this year, N : number of years from the last occurrence to 1976, $W_x(N)$: cumulative probability occurring by 1976.

31-40., Dec. 1970, 28-35., Dec. 1971, 26-32.,
Dec. 1972, 62-69., Dec. 1973, 32-39., Dec. 1974,
27-33.
RIKITAKE, T., 1975, Statistics of Ultimate Strain
of the Earth's Crust and Probability of Ear-

thquake Occurrence, Tectonophysics, **26**, 1-21.
YEGULALP, T.M. and J.T. KUO, 1974, Statistical
Prediction of Occurrence of Maximum Magni-
tude Earthquakes, Bull. Seism. Soc. Amer.,
64, 393-414.